

Sistema para la Detección de Cetáceos

Veca, A. C.^a, Valse, N.^c, Ruzzante, J.^b, Albalat^c, Marino, A.^c

^aInstituto de Automática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, ARGENTINA

^bLaboratorio de ensayos no destructivos, UTN, Facultad Regional Delta, ARGENTINA

^cGrupo de Investigación en Acústica Submarina, Universidad Nacional de Tres de Febrero, ARGENTINA

e-mail: aveca@inaut.unsj.edu.ar

RESUMEN

El trabajo describe el desarrollo de un sistema acústico para la detección de delfines, ballenas y orcas orientado al cómputo de su actividad en el sur argentino. Está compuesto de un micrófono piezoeléctrico, omnidireccional que fue diseñado y construido especialmente para esta aplicación específica. Presenta un ancho de banda de 150 KHz. Las señales captadas por el micrófono son procesadas por un algoritmo digital basado en la identificación de patrones, que selecciona la información de interés, almacenándola en una memoria temporal. Una vez completada la capacidad de la memoria, los datos se envían vía wifi a una estación terrestre ubicada a 6 km de distancia, para su análisis. El sistema estará anclado a una profundidad de 40 metros y sumergido a una profundidad de 20 metros. Presenta una autonomía de dos meses. A la fecha, los ensayos en ambiente de laboratorio con el uso de patrones de emisión acústica de cetáceos, obtenidos en ambiente natural, indican que el sistema tiene capacidad de cumplir con el objetivo propuesto.

Palabras Clave: Cetáceos, patrón de emisión, acústica subacuática

1. INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, existen un importante número de especies que utilizan el sonido para comunicarse con sus crías y para la eco-localización o biosonar, es decir, para detectar obstáculos y para la búsqueda y localización de sus presas. En prácticamente todos los casos utilizan la técnica pulso-eco con frecuencias superiores a 20 KHz (ver Fig. 1). En el aire, la especie que optimiza la eco-localización es el murciélago.

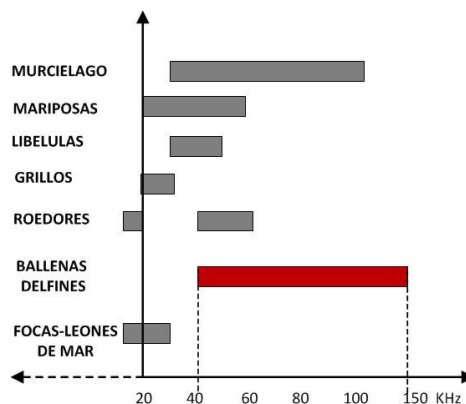


Fig. 1. Espectro acústico en la naturaleza

En el agua, dentro de los cetáceos, denominados odontocetos han desarrollado un sistema de biosonar que les permite detectar, localizar y caracterizar objetos debajo del agua, incluyendo presas y obstáculos, entre otros.

Como puede observarse, el ancho de banda de la emisión de estas especies, está comprendido entre 40 KHz y 150 KHz. Los sonidos que emiten pueden ser registrados durante extensos o breves períodos de tiempo utilizando herramientas de monitoreo acústico pasivo, en tiempo real utilizando hidrófonos autónomos que almacenan la información en su interior. Al igual que todas las especies que emplean la eco-localización, las señales acústicas emitidas por los cetáceos son únicas en cada especie, permitiendo obtener información importante acerca de su comportamiento, mediante el estudio de la señal acústica que emiten, permitiendo realizar una gran diversidad de estudios de forma no invasiva. A diferencia del aire, la propagación de las ondas acústicas en el agua, están favorecidas por la velocidad de propagación del sonido y por el valor de la impedancia acústica. Esto permite que la energía acústica se propague a grandes distancias con reducida atenuación. Como inconvenientes se tiene que son afectadas por la frecuencia de trabajo, por las pérdidas por absorción y por el ruido presente en el medio.

Este trabajo presenta los estudios preliminares orientados al desarrollo de un prototipo de sistema electrónico para el reconocimiento de sonidos emitidos por las distintas especies de cetáceos y transmitirlos a una estación ubicada en la costa para su posterior análisis.

El objetivo principal es el desarrollo de un sistema acústico para la detección acústica de delfines, ballenas y orcas en el mar argentino, orientado a la trazabilidad de su actividad.

Como objetivos particulares, tomar experiencia en el desarrollo de sistemas automáticos para la toma de señales en ambiente hostil y transmisión de datos a una estación autónoma ubicada en la costa. El esquema general del sistema se muestra en la Fig. 2. La zonda de medición que estará sumergida a una profundidad de 20 metros, contiene en su interior un micrófono omnidireccional y un amplificador.

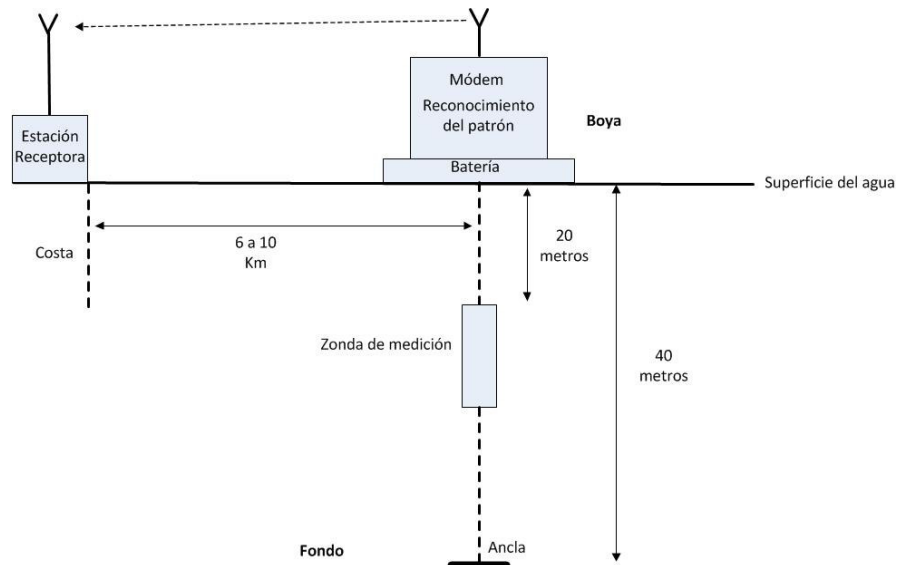


Fig. 2. Esquema del sistema a desarrollar

En la boya se encuentra el sistema electrónico para el reconocimiento de las señales acústicas captadas por la zonda, un digitalizador con su correspondiente memoria, las baterías y un módem para la transmisión de las señales a la estación terminal ubicada en la costa.

2. CARACTERÍSTICAS DEL AMBIENTE DE TRABAJO

- VELOCIDAD DEL SONIDO

Como ya se mencionó, acústicamente hablando, el ambiente marino está caracterizado por la velocidad de propagación del sonido, las pérdidas por absorción y por el ruido. El perfil de la velocidad del sonido con la profundidad que se muestra en la Fig. 3 (Kinsler et al, 1980) está dividido en cuatro zonas, siendo la primera (capa superficial) la que interesa en este caso ya que, la zonda estará sumergida a una profundidad de 20 metros. Esta capa está influenciada fundamentalmente por las variables meteorológicas locales. La velocidad del sonido decrece con un leve gradiente negativo, tomando un valor aproximado de 1495 m/s. La capa superficial presenta características de agua isotérmica mezclada por la acción del viento sobre la superficie del océano. El sonido tiende a ser atrapado por las reflexiones en la superficie y las refracciones hacia arriba desde el fondo, por cambio de impedancia acústica. (ver Fig. 4).

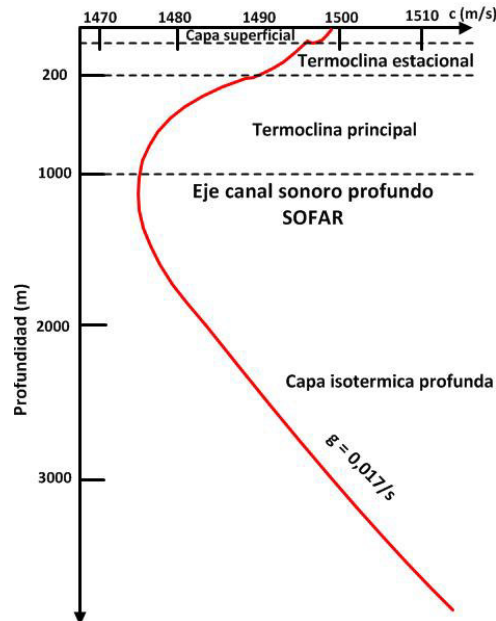


Fig. 3. Perfil de la velocidad del sonido con la profundidad

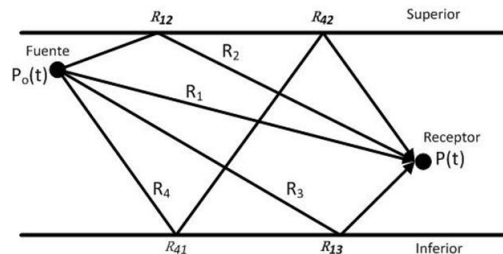


Fig. 4. Reflexiones y refracciones de la onda acústica en la capa superficial

- PERDIDAS

Si se considera que el frente de ondas es esférico las pérdidas de absorción están dadas por:

$$TL(dB) = 10 * \log(r) + \alpha r * 10^{-3} \quad (1)$$

donde r es la distancia fuente receptor en km y α el coeficiente de absorción en dB/km. α es función de la frecuencia de trabajo (f), utilizándose para su cómputo, la siguiente expresión:

$$\alpha = 0,11 \frac{f^2}{1+f^2} + 44 \frac{f^2}{(4100+f^2)} + 0,000275f^2 + 0,0003 \quad (2)$$

Como la frecuencia de emisión está comprendida entre 90 KHz y 150 KHz (Valese, 2017), la atenuación por absorción, toma los siguientes valores:

Para $f = 90$ KHz, $\alpha = 29$ dB/km y para $f = 150$ KHz, $\alpha = 32.7$ dB/km. Suponiendo una distancia fuente-receptor de 10 km, la atenuación por absorción arroja los siguientes valores: para $f = 90$ KHz, $TL = 10,31$ dB y para $f = 150$ KHz, $TL = 10,43$ dB. Estas cifras están corroborando la reducida atenuación del frente de onda acústica en el agua.

- RUIDO

En el océano, las fuentes son de diferente naturaleza; el producido por las corrientes de agua, por burbujas debido a procesos no lineales, al paso de embarcaciones, al movimiento de las olas, el producido por bancos de peces, entre otros. La Fig. 4 muestra un registro analógico (izquierda abajo), espectrograma (izquierda arriba) y el espectro de densidad de ruido (derecha). El espectrograma y el registro de nivel de ruido, están referidos a 1uPa. Como se observa, las bajas frecuencias presentan mayor nivel en el espectro, 110 dB en las cercanías de 1 Hz debido a la baja atenuación a bajas frecuencias, mientras que la media se encuentra en el orden de 80 dB.

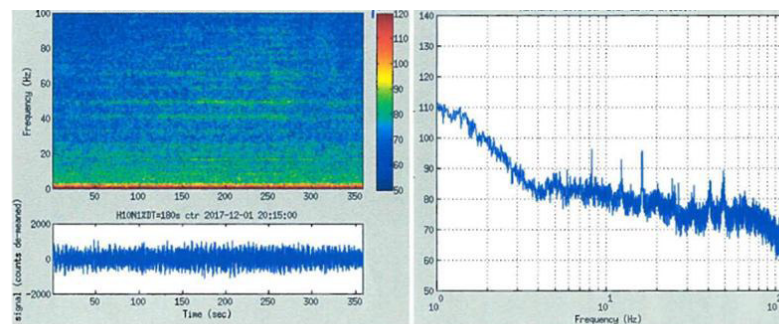


Fig. 4. Niveles de ruido

Del análisis, se concluye que la media del nivel de ruido pertenece a bandas de frecuencias muy inferiores al rango de frecuencias emitidas por los cetáceos, presentando una influencia salvable. Además, el perfil del lecho marino a la distancia a que se encontrará la zonda es similar al indicado en la Fig. 5, presentando características de filtro pasa bajos (Medwin, 1998).

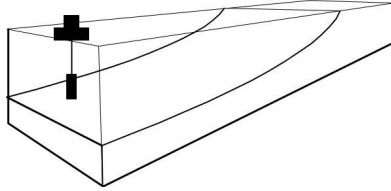


Fig. 5. Perfil del lecho marino donde se encontrará la zonda

3. SEÑAL DE EMISION ACUSTICA EMITIDA

En la Fig. 6 se muestra una secuencia típica de emisión de cetáceos, denominada clicks. Los clicks están caracterizados por ser emitidos en forma de un tren de pulsos sucesivos entre 50 y 200 μ s con frecuencia de repetición entre 6 y 256 clicks/s (Marino, 2017). En este caso el click está formado por tres pulsos

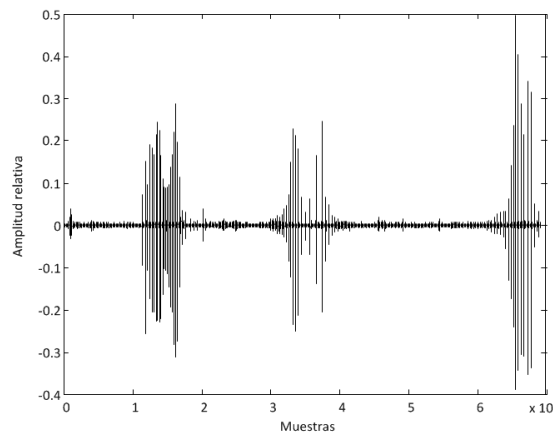


Fig. 6. Secuencia de eco localización de delfín

Si el sistema transmitiera a la estación receptora ubicada en la costa, todos los sonidos que registrara la zonda, el módem transmisor debería estar siempre activo. Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del módem, el consumo de 1 Amp/h imposibilitaría una autonomía razonable del sistema. A este consumo se debería agregar el consumo del resto de los sistemas electrónicos. Para paliar este inconveniente, se optó por desarrollar un criterio simple para el reconocimiento de la señal de interés. Para ello, se optó por el criterio usado en emisión acústica (Ruzzante, J., et al, 2005) y en la determinación de tiempo de transito por umbral para señales de ultrasonido (Veca, A., et al, 2016). Esto es, utilizar un umbral de decisión por arriba del ruido presente en la señal y una ventana temporal que tiene en cuenta la media de la separación de los clicks, como se muestra en la Fig. 7.

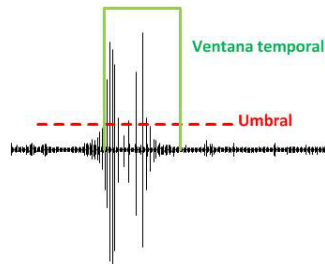


Fig. 7. Umbral y ventana temporal

4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Partiendo de la premisa inicial del proyecto de que la zonda debe estar sumergida a 20 metros de profundidad y a una distancia de 6 a 10 km de la costa, se debe asegurar una autonomía razonable de funcionamiento, es decir, por lo menos un mes. La autonomía depende exclusivamente de las baterías. Teniendo en cuenta esta limitación, y en función de lo visto en el apartado anterior, se decidió lo siguiente:

1. De todas las señales acústicas que captará el micrófono, sólo se tendrá en cuenta aquellas que superen el umbral de decisión y que se encuentren entre los límites de la ventana temporal.
2. El umbral de decisión se fijará por encima del nivel de ruido promedio reinante en el medio donde se encuentre anclada la zonda.
3. La ventana temporal tendrá un ancho determinado por la media de los registros estudiados.

La señal captada por el micrófono seguirá dos caminos:

Por un lado ingresará a un bloque denominado "toma de decisión" y otro, será digitalizada con conversor ADC de 16 bits de resolución y con frecuencia de muestreo de 500 KHz. La señal digitalizada ingresará a un buffer circular (pila FIFO). Si el bloque de toma de decisión reconoce que se trata de un click, la información contenida en el buffer, será almacenada en un disco duro de estado sólido. Cuando el disco se llene, todos los clicks almacenados pasarán al módem y serán transmitidos a la estación ubicada en la costa para su posterior análisis. La Fig. 8. muestra el diagrama en bloques de lo descrito.

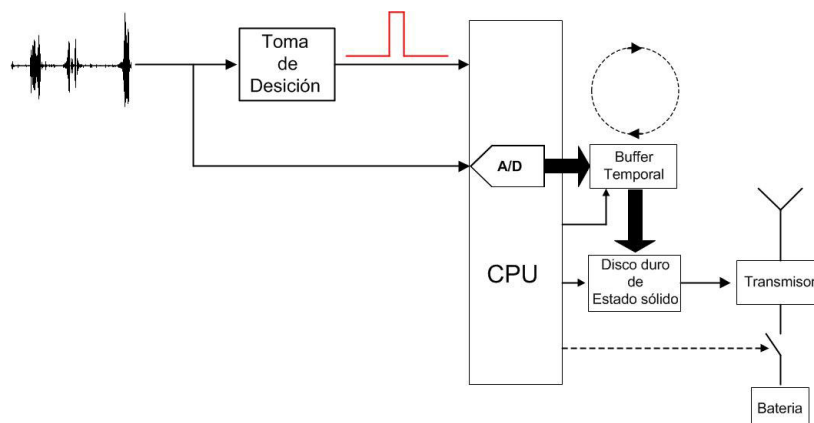


Fig. 8. Diagrama en bloques del sistema de reconocimiento, grabación y transmisión de los datos

El bloque de decisión está compuesto de las siguientes partes:

A la señal captada por el micrófono se la rectifica y por medio de un filtro pasa bajos, se obtiene la envolvente. A continuación, se compara con el umbral y con la ventana temporal. Si cumple con ambas condiciones, se graba en el disco duro. La Fig. 9 muestra en detalles el proceso de decisión.

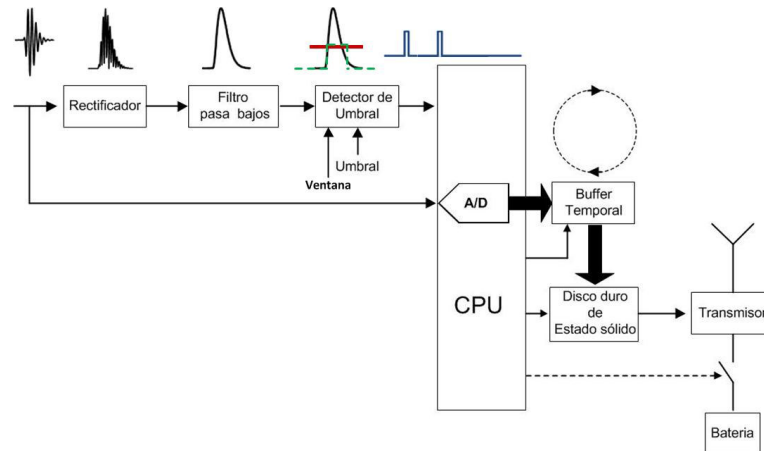


Fig. 9. Detalle del bloque de decisión

5. ENSAYOS DE SIMULACIÓN EN LABORATORIO

A los fines de prueba del sistema desarrollado, se llevaron a cabo una serie de ensayos en laboratorio, los que consistieron en emular en entorno de la zonda y las señales emitidas por los cetáceos. Para simular el entorno marino se usó una pecera (ver Fig. 10). En su interior se encuentra el emisor piezoeléctrico que se encuentra conectado al emulador de los sonidos emitidos por los cetáceos. Los sonidos fueron generados por medio de un sintetizador electrónico, programable por software (ver Fig. 11). En el lado opuesto, se encuentra un receptor piezoeléctrico que simula al micrófono ubicado en la zonda

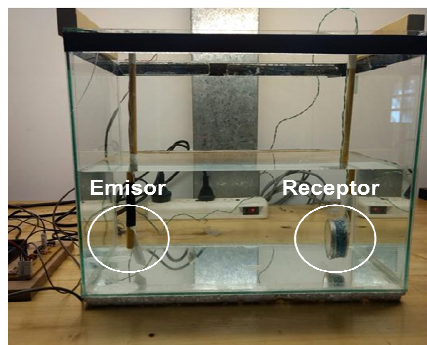


Fig. 10. Emulación del ambiente marino

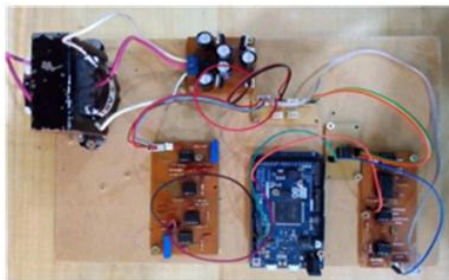


Fig. 11. Sistema generador de clicks

El detector de los clicks se muestra en la Fig. 12. Está compuesto por el extractor de envoltente, el umbral de decisión y la ventana temporal. El transmisor que emula al módem y el receptor que simula la estación de la costa se muestra en la Fig. 13

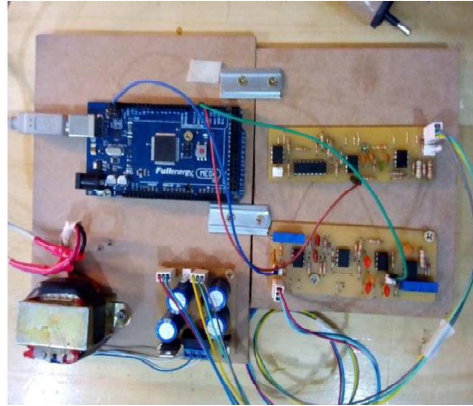


Fig. 12. Sistema receptor

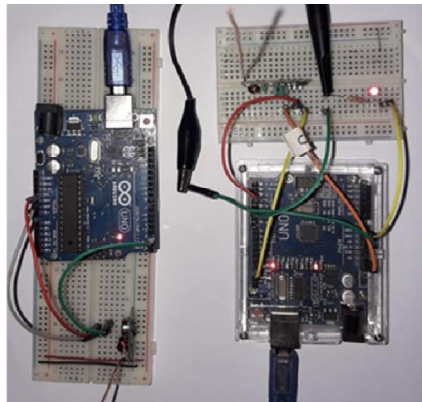


Fig. 13. Transmisor (boya) y receptor (costa)

Finalmente, la Fig. 14 muestra una vista superior de la pecera y los módulos citados anteriormente.

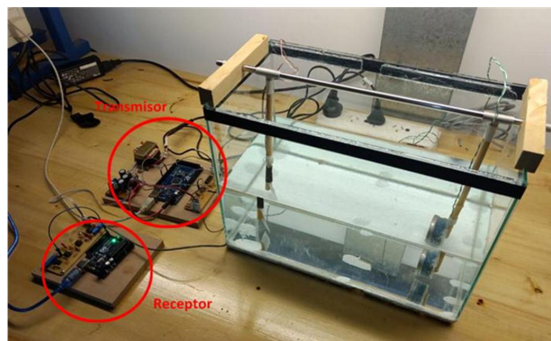


Fig. 14 Vista del sistema completo

6. RESULTADOS

A la hora de escribir este trabajo, se había verificado que las señales acústicas simuladas eran detectadas pero, existía un nivel de ruido de fondo superior al previsto. Esto se debió a que, por las dimensiones de la pecera, el frente de onda acústico viaja por el agua y por las paredes de la misma, ocasionándose interferencias y batidos.

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron los estudios preliminares del desarrollo de un sistema orientado a la recepción, de señales generadas por cetáceos a fin de estudiar su actividad.

En primer lugar, se analizaron las características físicas del medio marino que influyen en la captación de las señales acústicas.

A continuación, se analizó una secuencia típica de emisión y se la analizó desde el punto de vista del espectro de densidad de potencia, verificando el ancho de banda previsto.

Teniendo en cuenta las limitaciones de la energía disponible en la boya, se optó por utilizar la técnica de umbral y ventana temporal para reconocer si la señal recibida es la esperada y proceder a grabarla para su posterior envío a la estación receptora en la costa. Finalmente, usando una pecera, se realizó una simulación que consistió en generar una secuencia similar a la emitida por un cetáceo, detectarla y transmitirla a un receptor que emuló a la estación receptora.

REFERENCIAS

- Kinsler L. E., Frey, A. B., Coppens, A. B., Sanders, J. V. *Fundamentals of Acoustics*, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc, 1980.
- Medwin, H., Clay, C. S. *Fundamentals of Acoustical Oceanography*. Academic Press, 1998.
- Marino, A. *Detección de Clicks para Implementación de Monitoreo Acústico Pasivo de Delfines*. Tesis fin de carrera, Universidad Nacional de Tres de Febrero, 2017.
- Valese, L. N. *Diseño, Construcción y Caracterización de un Hidrófono Orientado a la Transducción de Señales Emitidas Por Cetáceos*. Tesis fin de carrera, Universidad Nacional de Tres de Febrero, 2017.
- Ruzzante, J. E., López Pumarega, M. I. *Emisión Acústica, un diálogo con los materiales*. <https://www.ciencias.org.ar/user/Ruzzante>
- Veca, A. C., Accolti, E. *Ultrasonido para Ingenieros y Estudiantes de Ingeniería*. Primera edición, 2016. <http://www.fi.unsj.edu.ar/Ultrasonido>.